



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

***Universidad Nacional de La Plata***

***Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales***

**Trabajo final de carrera**

“Comportamiento de la Producción Primaria Neta Aérea, del Carbono Orgánico del Suelo y del Nitrógeno total en estepas de halófitas bajo pastoreo”

**Tesistas:** Basili, Cristian Jesús

Sanchez, Sergio Sebastián

**Legajos:** 27008/4

27070/9

**DNI:** 36.857.961

37.245.229

**Correo e-mail:** cristianbasili992@gmail.com

sanchezseba@live.com

**Director:** Ing. Agr. Bolaños, Víctor R.A.

**Co-directora:** Ing. Agr. Pellegrini, Andrea

Presentado Mayo 2018

## Tabla de contenido

RESUMEN .....	1
MATERIALES Y METODOS.....	7
Lugar de realización .....	7
Cálculo de las precipitaciones .....	8
Medición de la productividad primaria neta aérea: Cortes de biomasa .....	8
Determinación de la densidad aparente del suelo .....	9
Determinación de las propiedades químicas del suelo.....	10
Análisis estadísticos.....	10
RESULTADOS Y DISCUSION.....	12
Análisis de las precipitaciones.....	12
Evaluación de la productividad primaria neta aérea (PPNA) .....	13
Evaluación de las propiedades químicas y físicas del suelo .....	16
Carbono orgánico del suelo (COS).....	16
Densidad aparente (DA) .....	19
Nitrógeno total (Nt).....	20
Evaluación de la relación entre el COS, Nt y PPNA .....	22
Conclusión .....	25
Anexo .....	26
BIBLIOGRAFÍA: .....	27

## RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron estimar la productividad primaria neta aérea (PPNA), determinar los valores de carbono orgánico del suelo (COS) y nitrógeno total (Nt), evaluar si existe relación entre la productividad primaria neta aérea, carbono orgánico del suelo y nitrógeno total, y determinar la densidad aparente (Dap) para obtener el stock de COS y Nt en los primeros 5cm del suelo, bajo distintos manejos del pastoreo y su exclusión. Se trabajó en estepas de halófitas de la localidad de Vieytes en suelos Natracualfes. Los tratamientos fueron: clausura de 17, 13 y 7 años, pastoreo rotativo implementado desde hace 17 y 7 años, y pastoreo continuo desde hace varias décadas. Se estimó la PPNA teniendo en cuenta la sumatoria de los incrementos de biomasa a lo largo de un año. Las propiedades físicas y químicas del suelo evaluadas fueron: Dap, COS y Nt, sobre muestras compuestas a 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad. Los resultados muestran que la PPNA fue máxima en la clausura de menor edad y mínima bajo pastoreo continuo, el resto de los tratamientos tuvieron valores intermedios. La clausura de mayor edad arrojó los valores más elevados de COS, tanto en superficie como en profundidad, y los menores valores correspondieron al tratamiento bajo pastoreo continuo. Los valores más elevados de Nt a nivel superficial se encontraron en el pastoreo rotativo implementado hace 17 años. En profundidad, la clausura de 17 años presentó los mayores valores y el menor contenido corresponde al pastoreo continuo, en todas las profundidades. Conocer la PPNA nos permite estimar la cantidad de animales que la estepa soportaría, siendo este un paso clave para ajustar la carga animal a la condición de dicho recurso. Comparando todos los tratamientos, el área con mayor disturbio de pastoreo presentó, en todos los casos, los menores resultados, comprometiendo la sustentabilidad de la estepa. Por el contrario, aquellas áreas sin disturbio o con un bajo disturbio de pastoreo, evidenciaron los mayores resultados.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura y la ganadería son actividades que tienen su origen en la zona creciente fértil, que abarca Irán, Irak, Jordania, Siria y Turquía, en China y en las culturas precolombinas en América Central hace más de diez mil años. Desde entonces el hombre comenzó a domesticar especies, evolucionando de una vida nómada a una vida sedentaria donde el cultivo de diferentes especies y la cría de animales le permitieron autoabastecerse, mejorando tanto la dieta como la calidad de vida. Esta evolución, que se expandió por todo el mundo, significó un cambio inevitable que resultó en la transformación de los ecosistemas naturales en agroecosistemas cuyo objetivo es la obtención de un producto o “cosecha”. Originalmente toda la biomasa generada retornaba al suelo y los ciclos biogeoquímicos de los diferentes nutrientes no se veían alterados por factores externos. Con la intervención del hombre gran parte de la biomasa se exporta del sistema, sin retorno al mismo, alterando la productividad primaria neta (PPN) y las características edáficas, entre ellas, el ciclo del carbono orgánico del suelo.

La productividad primaria neta (PPN) y el carbono orgánico del suelo (COS) son probablemente el flujo y el componente estructural más importante del ecosistema. La PPN representa el flujo de carbono(C)potencialmente disponible para el resto de los niveles tróficos del ecosistema(Odum 1969) y el COS es una reserva de nutrientes, que especialmente en pastizalesdetermina fuertemente la fertilidad, la capacidad de retención de agua y la capacidad estructural del suelo (Tiessen et al. 1994, Lal 2004a). Los suelos de pastizales pueden almacenar más de 100 toneladas (Tn) de C por hectárea en el primer medio metro de profundidad, por lo quetienen un potencial muy importante como sumidero de C.(Conant y Paustian 2002, Schuman et al. 2002, Lal 2004a, b).

La PPN y el COS están estrechamente relacionados, la PPN determina la disponibilidad de detritos para la formación del COS. Recíprocamente, el COS influye en la PPN en el largo plazo, a través de su efecto sobre la fertilidad del suelo, particularmente sobre la disponibilidad de nitrógeno (N)(Burke et al. 1998, Jenkinson et al. 1999), la capacidad de retención de agua, efecto buffer (de temperatura y pH) y en la estructura del suelo entre otros. El ganado doméstico altera la PPNA y las reservas de N al igual que las de COS (Piñeiro et al. 2009).

El ganado doméstico altera la productividad a través del pastoreo, en parte, porque ejerce una fuerte presión sobre las especies más palatables, favoreciendo la proliferación de las especies de menor valor forrajero que suelen ser menos productivas (Rush et al. 1997). La información respecto del efecto que el pastoreo produce sobre la PPNA es contrastante. Por un lado, diversos autores indican que los efectos del pastoreo, a nivel global, son variables pero en general negativos (Milchunas y Lauenroth 1993, Oesterheld et al. 1999), estudios realizados en pastizales pampeanos señalan una posible disminución de la PPNA (Doll y Deregibus 1986, Rusch y Oesterheld 1997) y otros estudios llevados a cabo en pastizales uruguayos sugieren aumentos de la PPNA (Altesor et al. 2005).

Misma controversia que para la PPNA surge en los resultados de los diferentes estudios que abordan el efecto del pastoreo sobre el COS. Por un lado algunos estudios en la región indican que el COS se mantiene en niveles similares previos a la introducción de los herbívoros domésticos (Lavado y Taboada 1985, Lavado et al. 1995), mientras que otros señalan leves descensos (Alvarez 2001). Bolaños et al (2016) reportaron incrementos en el contenido de COS y aumentos de la PPNA post-exclusión del

pastoreo de ganado doméstico, registrándose durante los primeros tres años los incrementos más importantes y tendiendo a estabilizarse a partir del sexto.

El impacto del pastoreo sobre la materia orgánica del suelo deberían ser abordados considerando el C y N en conjunto (Conant et al. 2005). El C y N circulan conjuntamente en los vegetales y separados en los procesos de descomposición en el suelo, producto de la actividad biológica (Piñeiro et al. 2009). Los cambios en el flujo de un elemento afectan directamente los flujos del otro. La relación C/N del suelo, de las plantas y de los residuos vegetales es un importante indicador de su calidad y afecta diversos flujos en el ecosistema, como la descomposición, la inmovilización y la mineralización del N. En este sentido se ha reportado como cambios en la composición florística producto del impacto del pastoreo de ganado doméstico, alteran la calidad de la broza y el ciclado de nutrientes repercutiendo en la tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo (Garibaldi et al. 2007).

La Región Pampeana es un área fitogeográfica situada en el centro-este de Argentina. La Pampa Deprimida es una de las subregiones que integran la región pampeana, ubicada en el centro-este de la provincia de Buenos Aires que incluye a la Depresión del Salado y la Depresión de Laprida (Etcheveré 1961). La Pampa Deprimida abarca una superficie de aproximadamente 9.000.000 ha, tiene un clima templado húmedo, con temperatura media anual entre 13,8 °C en el sur y 15,9 °C en el norte y una precipitación media anual entre 850 mm en el sudoeste y 1000 mm en el noreste (Durante 2006). El relieve es plano, sin una red de drenaje definida, por lo que suelen ocurrir eventos de inundación (León et al. 1984) y el 80% de la superficie total de la región está dominado con pastizal natural (Grecco 2001). La cría de ganado bovino ha sido por más de un siglo la actividad ganadera predominante y el pastizal natural con escasa adopción de tecnología es el principal alimento para el ganado doméstico (Josifovich et al. 1989). Dicho

pastizal se caracteriza por presentar una notable heterogeneidad florística, las comunidades vegetales descritas (León 1975, León et al. 1979, Batista et al. 1988, Burkart et al. 1998) han sido relacionadas con la posición topográfica que ocupan en el paisaje y con dos atributos edáficos (régimen hídrico y salinidad-sodicidad). Como resultado se identificaron cinco Grandes Unidades de Vegetación denominadas pradera de mesófitas, pradera húmeda de mesófitas, pradera de hidrófitas, estepa húmeda de halófitas y estepa de halófitas (Perelman et al. 2001).

Este presente trabajo se plantea en la estepa de halófitas del área de la Depresión del Salado donde dicho ambiente representa un 16 % de la superficie total, se caracteriza por ocupar los suelos con altos niveles de sodicidad desde la superficie o muy cercana a ella. En el paisaje están usualmente asociadas a áreas planas, tendidas, a pequeños machones y anillos ubicados en torno a ambientes húmedos. La estepa de halófitas es fácilmente diferenciable desde el punto de vista florístico, dominada por diferentes grupos funcionales, que pueden definirse como un conjunto de plantas que presentan respuestas similares al ambiente y producen efectos conforme a los principales procesos ecosistémicos, como productividad, ciclado de nutrientes o transferencia trófica (Walker 1992). Es un ambiente de bajo potencial ganadero y pobre en especies de valor forrajero (Cauhepé & Hidalgo 2005). Los grupos más importantes presentes y las principales especies que lo componen en general son: gramíneas estivales como *Distichlis spicata*, *D. scoparia*, *Paspalum vaginatum*, y *Chloris berroi*, gramíneas invernales como: *Hordeum pusillum*, *Stipa papposa* y *Chaetotropis elongata*, dicotiledóneas representadas por *Ambrosia tenuifolia*, *Acicarpaproscumbens* y *Spergula* spp, entre otras (Burkart et al. 1990; Cauhepé & Hidalgo 2005) y el alga *Nostoc* spp. La estepa de halófitas está asociada con los suelos Natracuafes según USDA (2010), con horizonte superficial muy somero, horizonte nátrico, y baja permeabilidad.

El análisis de los cambios en la PPNA y en los contenidos de carbono y nitrógeno de la materia orgánica del suelo, luego de varios años de implementar el pastoreo rotativo o la exclusión serán de utilidad para conocer las consecuencias del pastoreo en la comunidad de la estepa de halófitas.

**Hipótesis:** el método de pastoreo influye directamente sobre el contenido de carbono y nitrógeno del suelo y sobre la PPNA en la estepa de halófitas.

**Objetivo:** evaluar cómo influye el método de pastoreo sobre la PPNA, el contenido de carbono del suelo y nitrógeno total.

**Objetivos específicos:**

- Estimar la productividad primaria neta aérea de la comunidad estepa de halófitas bajo distintos manejos del pastoreo y en exclusión.
- Determinar los valores de COS y Nt de un suelo *Natracuallf* bajo distintos manejos del pastoreo y en exclusión.
- Evaluar si el pastoreo altera el stock ( $\text{kg.Tn}^{-1}$  de suelo) de COS y Nt del suelo.
- Evaluar si existe relación en entre la PPNA vs el COS y Nt del suelo.



## **MATERIALES Y METODOS**

### **Lugar de realización**

El trabajo se realizó en 6 lotes con predominio de estepa de halófitas en tres establecimientos de cría vacuna ubicados en la localidad de Vieytes, partido de Magdalena. En uno de los campos ("El Amanecer" propiedad de la UNLP), comenzó a aplicarse el manejo del pastoreo rotativo en el año 1999 (hace 17 años) donde se seleccionó un lote con estepa de halófitas. Asimismo en dos potreros del citado campo, manejado con pastoreo rotativo, se instalaron sendas clausuras: una en 1999 (clausura de 17 años) y otra a comienzos de 2004 (clausura de 13 años). En otro campo lindero, se aplicó también el manejo del pastoreo rotativo desde el año 2010 (hace 7 años) donde se instaló una clausura en el mismo año (clausura de 7 años). Previamente, en ambos establecimientos, el manejo del pastoreo era continuo. El tercer campo está ubicado a 5 kilómetros de distancia del primero y el manejo que se lleva a cabo del pastoreo es continuo desde hace varias décadas.

Los seis sitios fueron seleccionados con la intencionalidad de formar un gradiente virtual de menor a mayor magnitud del disturbio de pastoreo. Bajo este ordenamiento, los seis tratamientos que se analizaron fueron: clausura de 17 años (CI1), de 13 años (CI2) y de 7 años (CI3), pastoreo rotativo implementado desde hace 17 años (R1) y 7 años (R2) y pastoreo continuo desde hace varias décadas (PC). En cada tratamiento se evaluó la PPNA, stock en suelo de COS y Nt.

El diseño empleado fue unifactorial (disturbio del pastoreo) con seis tratamientos, sin repeticiones verdaderas. Dentro de cada uno de los sitios se tomaron de tres a cinco áreas de corte para medir la PPNA y tres áreas contiguas de donde se extrajeron las

muestras compuestas de suelo para realizar las determinaciones de COS, Nt y densidad aparente(Dap). De esta forma quedan definidas las pseudoreplicas de cada tratamiento.

### **Cálculo de las precipitaciones**

Se compararon las precipitaciones promedio del año de realización de este trabajo junio 2016 a junio 2017, con las precipitaciones promedio desde 1999-2017. Los datos se obtuvieron del establecimiento “El Amanecer” propiedad de la UNLP, ubicado en la localidad de Vieytes.

### **Medición de la productividad primaria neta aérea: Cortes de biomasa**

Durante el periodo de junio 2016 a junio 2017 se realizaron seis cortes: 4/06, 21/09, 23/11 de 2016 y 08/02, 13/04, 29/06 de 2017. En cada tratamiento se cortaron entre 3 y 5 (según su heterogeneidad) áreas de 0,25 m<sup>2</sup>, definidas al azar, cabe aclarar que los tratamientos con manejo del pastoreo de forma rotativa se colocaron jaulas para que los animales no consumieran el forraje que se cortaba. Los cortes fueron al ras y simultáneamente se colectó de forma manual la broza. La biomasa cosechada se separó en laboratorio en: biomasa verde y material muerto. La biomasa verde se clasificó según grupos funcionales en: gramíneas invernales (OIP), gramíneas estivales (PVO), monocotiledóneas no gramíneas (ciperáceas y juncáceas), leguminosas y dicotiledóneas, con el fin de comprender el comportamiento de las curvas de crecimiento, pero no se realizó un análisis de cada grupo en particular. Todo se secó en estufa a 60°C hasta peso constante, y posteriormente se pesó con balanza analítica, obteniendo así la materia seca (MS).

La PPNA se calculó mediante la metodología de Sala & Austin (2000) como la sumatoria de los incrementos entre dos mediciones sucesivas en los componentes de: biomasa verde, material muerto y broza. Es decir, se sumaron las diferencias positivas de la biomasa, considerando que los incrementos en cada compartimento ocurren al mismo tiempo (Singh et. al., 1975). Las tasas de crecimiento diarias de la estepa se calcularon a partir de los incrementos positivos de biomasa, dividido el número de días transcurrido entre los dos cortes. Cuando se realizó la separación del material en gabinete se logró la identificación de la mayoría de las especies presentes en cada tratamiento (parcela) con la finalidad de luego ser utilizado al momento de interpretar los resultados.

En la CI1 algunas de las especies encontradas fueron: *Lolium multiflorum*, *Gaudiña fragilis*, *Stipa papposa*, *Chloris berroi*, *Hordeum pusillum*, *Sporobolus indicus* entre otras. En la CI2 las especies identificadas fueron las mismas que en CI1, menos *Stipa papposa* y además hubo un menor predominio de *Lolium multiflorum*. En cuanto a la CI3 se identificaron las siguientes especies: *Lolium multiflorum*, *Chloris berroi*, *Chaetotropis elongata*, *Distichlis sp.*, *Gaudiña fragilis*, *Sporobolus indicus*, *Hordeum sp*, gran cantidad de *Lotus tenuis*. El R1 se encontró gran cantidad de *Gaudiña fragilis*, *Lolium multiflorum*, *Chloris berroi* y en menor cantidad *Sporobolus indicus*, *Hordeum sp*, entre otras. En R2 algunas de las especies identificadas fueron: *Danthonia montevidensis*, *Distichlis sp*, *Hordeum sp*, *Sporobolus indicus*, *Lotus tenuis* y *Chaetotropis elongata*. En cuanto al PC se encontró gran predominio de *Distichlis sp*, *Hordeum sp* y *Sporobolus pyramidatus*.

### **Determinación de la densidad aparente del suelo**

Para cada tratamiento se determinó la densidad aparente del suelo mediante el método del cilindro (SAMPLA 1996). Para lo cual, por cada área se extrajeron tres muestras de 0 a 5cm y se llevaron a estufa a 105°C durante 24h. Posteriormente se pesó

el suelo seco y se calculó la densidad aparente mediante la siguiente fórmula:  $Dap = \text{peso del suelo seco} / \text{volumen del cilindro}$ .

$$Dap = \frac{Ms}{Vt}$$

Dap: Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Ms: masa del suelo, seco en estufa a  $105^\circ\text{C}$ , en (g)

Vt: volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ )

Dicha determinación se utilizó para calcular el stock de COS y Nt presente por hectárea y a una profundidad de 5cm. Y poder comparar valores absolutos de COS y Nt entre tratamientos.

### **Determinación de las propiedades químicas del suelo**

En cada tratamiento del disturbio del pastoreo se extrajeron tres muestras compuestas de suelo a tres profundidades: 0-5 cm; 5-10 cm y 10-20 cm. Las muestras se estabilizaron a  $40^\circ\text{C}$ , desagregaron y tamizaron a 2 mm.

En laboratorio se determinó el Nt mediante digestión húmeda, evaluación por Microkjeldahl y carbono oxidable (CO) por el método de Walkley & Black modificado, digestión húmeda, micrométodo (PROMAR 1991).

Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-UNLP.

### **Análisis estadísticos**

Los datos de la producción de biomasa fueron sometidos a un análisis estadístico (ANOVA).

Los datos edáficos (COS, Nt y Dap) se analizaron mediante el método ANOVA y las medias resultantes se compararon mediante el test Tukey. Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el software INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2011)

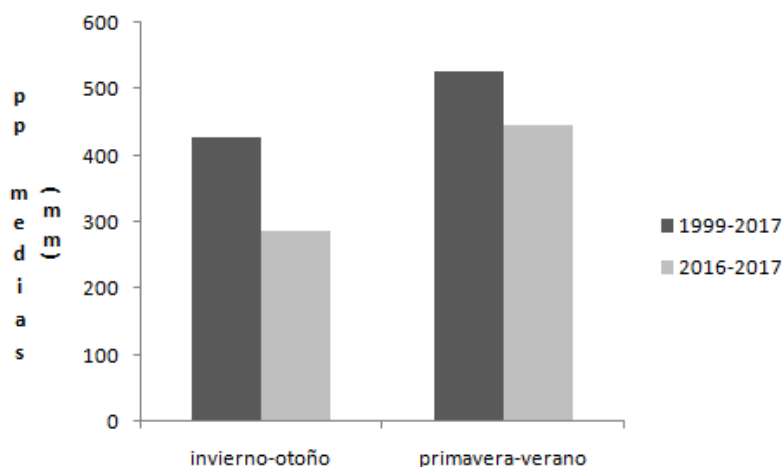
Al final del período experimental se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre el COS, Nt y la PPNA.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis de las precipitaciones

El promedio histórico (1999-2016) de precipitaciones en la localidad de Vieytes fue de 929,72 mm. durante el periodo de realización del presente trabajo (junio 2016 a junio de 2017) la precipitación media anual fue menor de 732 mm.

En relación a la distribución de las precipitaciones cabe destacar que la región se caracteriza por tener un régimen isohigro, en donde las precipitaciones se distribuyen más o menos uniforme a lo largo del año. Sin embargo, en el período analizado la distribución de las precipitaciones no se mostró tan regular. Las precipitaciones de las estaciones primavera y verano fueron superiores a las de otoño e invierno en 158mm, cuando el promedio de los 17 años la diferencia entre ambos es de 98mm. Cabe destacar que las lluvias de ambos bloques fueron menores al promedio de los últimos 17 años (Figura 1).

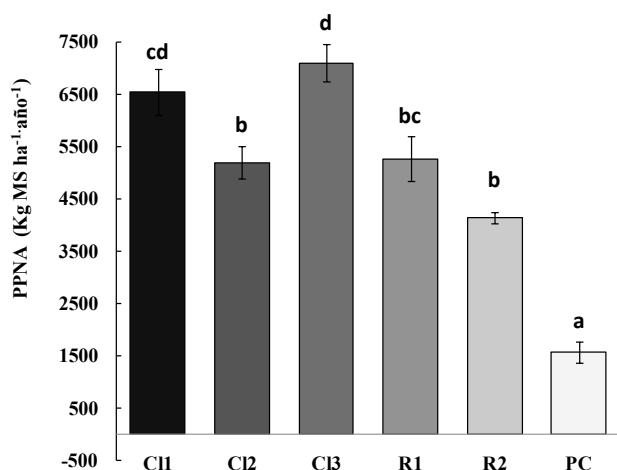


**Figura 1.** Precipitaciones medias de los últimos 18 años y del período junio 2016 - junio 2017 de las estaciones climáticas invierno-otoño y primavera-verano de la localidad de Vieytes. Datos propios del establecimiento El Amanecer propiedad de la UNLP ubicado en la localidad de Vieytes.

## Evaluación de la productividad primaria neta aérea (PPNA)

La PPNA en las áreas clausuradas desde hace 17 años (CI1), 13 años (CI2) y 7 años (CI3) fue de 6535 kg MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, 5192 kg MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y 7096 kg MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> respectivamente, valores similares se obtuvieron en los tratamientos bajo pastoreo rotativo de 17 años (R1) 5265 kg MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y de 7 años (R2) 4138 kg MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y en el área bajo pastoreo continuo (PC) la PPNA fue la mínima 1564 MS.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> (Figura 2).

Hay una marcada diferencia entre la PPNA obtenida en las clausuras y en las áreas bajo pastoreo rotativo con respecto al área bajo pastoreo continuo. Las áreas clausuradas y bajo pastoreo rotativo produjeron entre 2 a 4 veces más que el área bajo pastoreo continuo. La PPNA máxima se obtuvo en la clausura de menor tiempo de exclusión al pastoreo y la menor PPNA se encontró bajo pastoreo continuo.



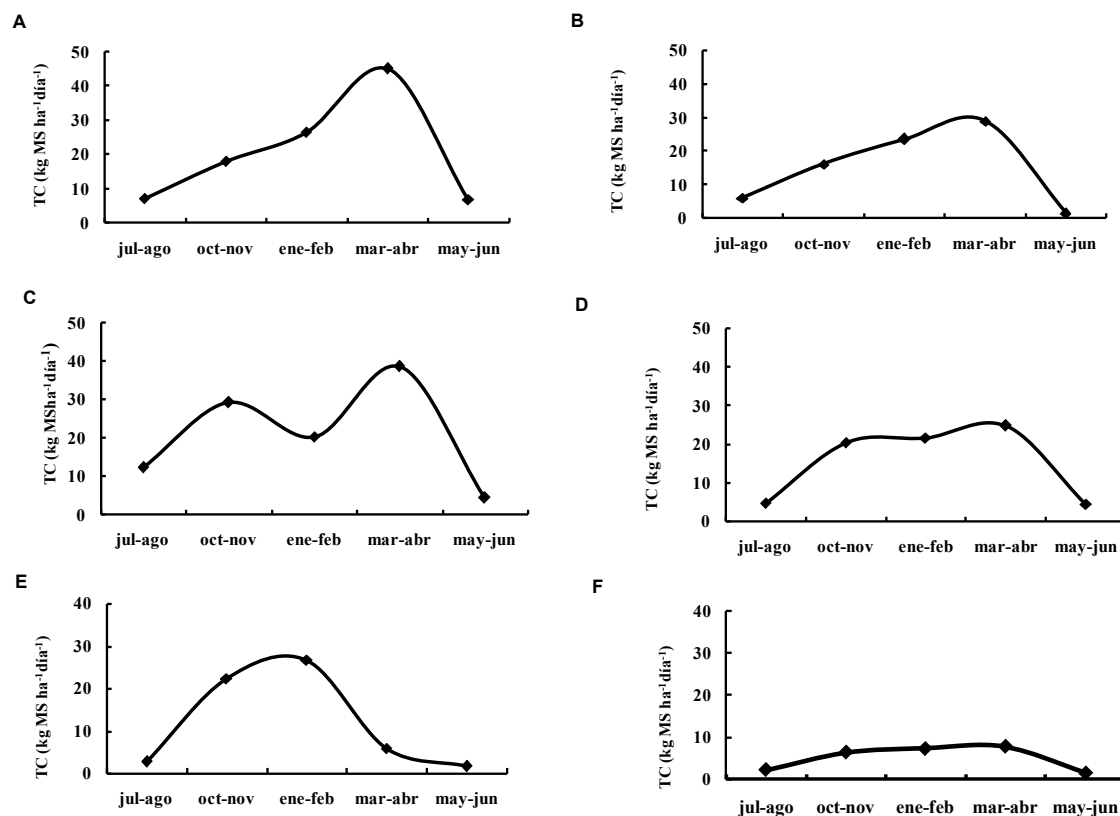
**Figura 2.** Productividad primaria neta aérea anual en estepas de halófitas con distinta magnitud de disturbio pastoreo: clausura de 17 años (CI1), clausura de 13 años (CI2), clausura de 7 años (CI3), pastoreo rotativo implementado hace 17 años (R1), pastoreo rotativo implementado desde hace 7 años (R2) y pastoreo continuo (PC). Período evaluado: junio 2016 - junio 2017 para todos los tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas verticales en cada barra indican desvío estándar.

Los efectos del pastoreo sobre la PPNA a nivel global son variables pero en general negativos (Milchunas y Lauenroth 1993, Oesterheld et al. 1999). Resultados similares a los obtenidos en este trabajo se encontraron también en la Pampa Deprimida, donde la situación bajo pastoreo fue mucho menos productiva que la sin pastoreo (Rusch y Oesterheld 1997). Vecchio et al. (2008), en el mismo sitio donde se realizó el presente estudio, encontraron que las áreas con exclusión al pastoreo fueron más productivas que aquellas manejadas con pastoreo rotativo, resultados coincidentes con los tratamientos CI1 vs R1 y CI3 vs R2. Sin embargo datos encontrados en pastizales del Uruguay reflejan resultados diferentes a los obtenidos en este estudio, donde se obtuvieron los mayores valores de PPNA en parcelas con cortes, simulando pastoreo rotativo, valores intermedios en parcelas bajo pastoreo continuo y los menores valores en una clausura de 9 años (Altesor et al. 2005).

Respecto a las tasas de crecimiento diarias, el tratamiento que presentó el mayor valor fue la CI1, llegando a  $45 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$  en los meses de marzo y abril (figura 3A). Le sigue en orden decreciente la CI3, con los  $39 \text{ kgMS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$  (figura 3C). Los tratamientos CI2, R1 y R2 presentaron valores muy similares, llegando a 29, 25 y 27  $\text{kgMS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$  respectivamente (figura 3B, D y E). El tratamiento bajo pastoreo continuo, fue de  $7,7 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$  (figura 3F). Todos los valores mencionados se corresponden a los meses de marzo y abril, con excepción del tratamiento R2, el cual presentó su pico de producción en los meses de enero y febrero. Esto se debe, posiblemente, a la mayor contribución de especies C4 (principalmente del género *Distichlis sp*). Los valores mínimos se presentaron en los meses invernales, el tratamiento que presentó el máximo valor fue la CI1, con  $7 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$ , y la tasa de crecimiento más baja fue registrada en el tratamiento CI2, con  $1,5 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$ . Estos resultados difieren de los hallados en el



trabajo de Irisarri et al. (2013), quienes encontraron que el máximo valor en una estepa de halófitas del centro de la Pampa Deprimida fue en el mes de diciembre. Sin embargo, hubo coincidencia en cuanto a que presentaron una tendencia monomodal, concentrando su producción en determinados meses. La excepción para nuestro trabajo fue la CI3 con dos picos de producción, en dos momentos diferentes del año (Figura 3C). Este último caso coincide con lo encontrado por Menghi et al., (1998) en estepas pampeanas, donde se obtuvieron dos picos de crecimiento durante el año, uno correspondiente al otoño y otro a la primavera, difiriendo en que la mayor tasa de crecimiento se obtuvo en primavera y en nuestro caso dicha tasa se presentó en principio de otoño. Esta tendencia de crecimiento bimodal podría deberse a la gran cantidad de especies C3 y C4 que se identificaron en el tratamiento al realizar los cortes de biomasa. Dentro de las especies C3, las predominantes fueron: *Gaudinia fragilis*, *Hordeum* spp, *Lolium multiflorum* y *Polipogon elongatus* (ex *Chaetotropis elongata*). Respecto a las especies C4, hubo predominio del genero *Distichlis* spp, las especies *Chloris berroi* y *Sporobolus indicus*.



**Figura 3.** Tasas diarias de crecimiento a lo largo del año bajo los diferentes tratamientos: **A:** clausura de 17 años, **B:** Clausura de 13 años, **C:** Clausura de 7 años, **D:** pastoreo rotativo implementado hace 17 años, **E:** pastoreo rotativo implementado hace 7 años y **F:** pastoreo continuo. Período evaluado: junio 2016 - junio 2017 para todos los tratamientos.

## Evaluación de las propiedades químicas y físicas del suelo

### Carbono orgánico del suelo (COS)

Los resultados obtenidos indican una relación inversa entre profundidad y el contenido de COS dentro de cada tratamiento. A mayor profundidad el contenido de COS disminuye. A nivel general, para las tres profundidades, el tratamiento que presentó los

valores más altos de COS fue la CI1, y los valores más bajos corresponden al tratamiento PC (figura 5).

En cuanto a los primeros 5cm de suelo (figura 5 A), los resultados fueron expresados en  $t\ ha^{-1}$  de COS, teniendo en cuenta los valores de densidad aparente. En el resto de las profundidades los resultados fueron expresados en porcentaje de COS.

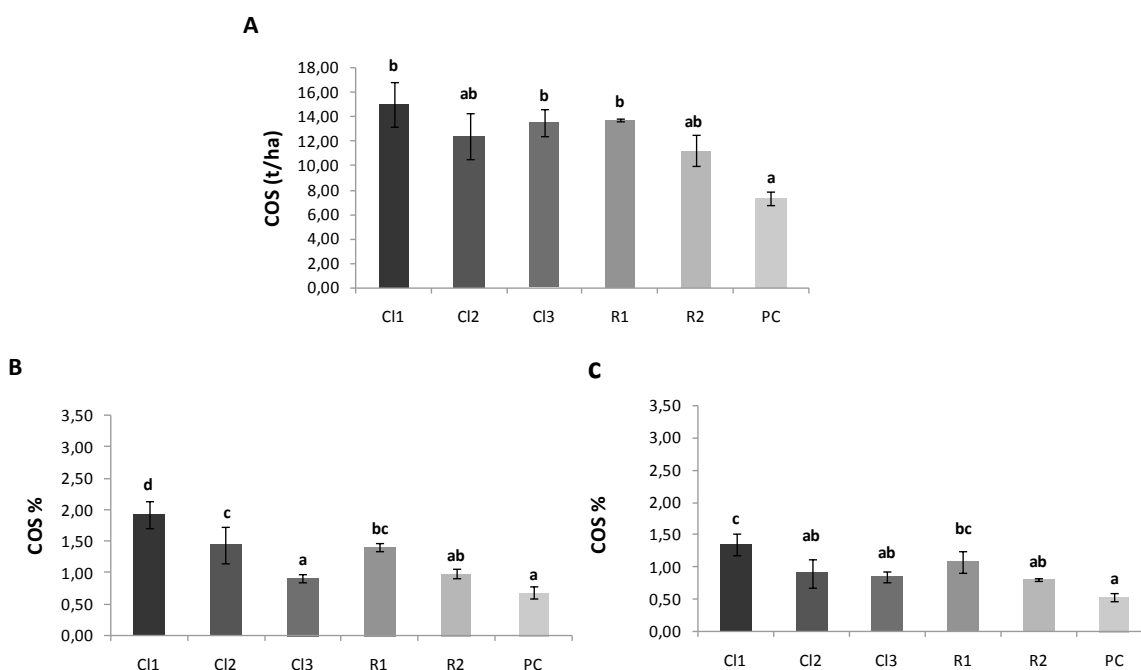
En los primeros 5 cm, el tratamiento que arrojó el valor más elevado fue la CI1 (15 t de COS), le siguen en orden decreciente R1, CI3, CI2, R2 y PC, cuyos valores fueron 13,76; 13,49; 12,43; 11,25 y 7,30 t de COS respectivamente. El área clausurada de mayor edad, el tratamiento bajo pastoreo rotativo de trece años y la clausura más nueva, se diferenciaron significativamente del área bajo pastoreo continuo pero no hubo diferencias con el resto de los tratamientos. Por su parte el PC no se diferenció significativamente de la CI2 y del R2.

Con respecto a la profundidad comprendida entre los 5 y 10cm, el tratamiento CI1 presentó el valor dentro del rango de moderadamente bien provisto (1,92% de COS), diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos. Para estos se encontró que la CI2 superó al R1 (1,45 y 1,42% de COS respectivamente, moderadamente deficiente), y el R2 superó a la CI3 (0,98 y 0,93% de COS respectivamente, deficiente), manteniendo el menor contenido de COS el PC (0,69%, muy deficiente). A esta profundidad el PC no se diferenció significativamente de la CI3 y R2(figura 5B).

El contenido de COS para la profundidad entre los 10-20 cm, evidenció el mismo ordenamiento de los tratamientos que en los primeros 5 cm de suelo. La CI1 permaneció con el mayor contenido 1,35% de COS, diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos menos del R1. El área bajo pastoreo continuo solo presentó diferencias significativas con la CI1 y el R1 (figura 5C). Los valores de COS se presentaron en el

siguen orden decreciente, el  $R1 > CI2 > CI3 > R2 > PC$ , cuyos valores fueron 1,08, 0,91, 0,84, 0,81 y 0,54% de COS respectivamente.

Las aéreas con exclusión al pastoreo o con un manejo del pastoreo controlado presentan mayores valores de COS que las aéreas bajo pastoreo continuo. A su vez, dentro las primeras, el área clausurada de mayor edad presentó un aumento en el contenido de COS no solo en los primeros centímetros del suelo, sino también en profundidad.



**Figura 5.** Carbono orgánico del suelo (COS) a distintas profundidades de suelo bajo los diferentes tratamientos de pastoreo: **CI1**: clausura de 17 años, **CI2**: Clausura de 13 años, **CI3**: Clausura de 7 años **R1**: pastoreo rotativo implementado hace 17 años, **R2**: pastoreo rotativo implementado hace 7 años y **PC**: pastoreo continuo. **A**: 0-5 cm de profundidad, **B**: 5-10 cm de profundidad y **C**: 10-20 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas verticales en cada barra indican desvío estándar.

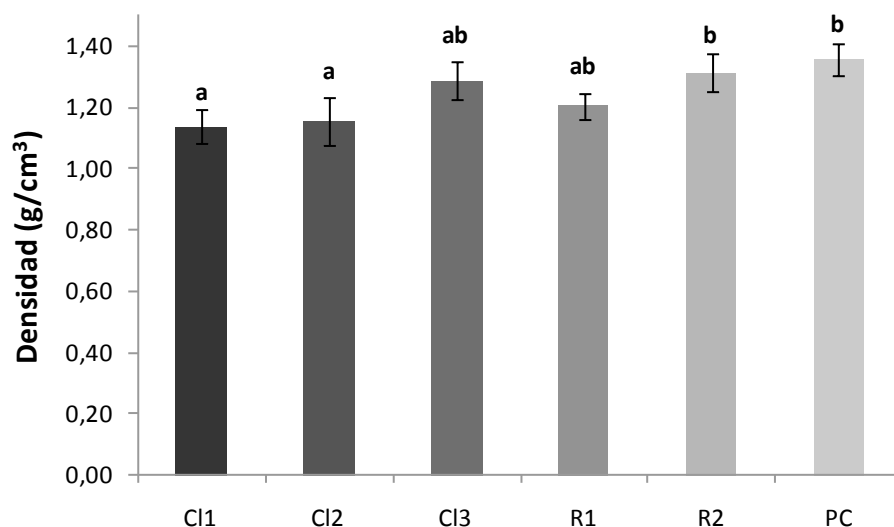
En los pastizales del Rio de La Plata el pastoreo continuo por el ganado vacuno ha disminuido las cantidades de carbono orgánico después de trescientos años de herbivoría (Piñeiro, 2006), coincidiendo con los resultados hallados en este trabajo, donde se observaron los menores valores en las áreas bajo pastoreo continuo y rotativo implementado hace siete años. Lavado & Taboada (1985) no observaron diferencias significativas en el contenido de CO<sub>2</sub> entre una clausura de 6 años y pastoreo continuo, resultados que coinciden con lo obtenido en este estudio solo a la profundidad de 0-5 cm considerando la clausura de 7 años y el área bajo pastoreo continuo. Vecchio (2014) en el mismo sitio de realización de este trabajo, encontró que las áreas excluidas al pastoreo y con un manejo rotativo del mismo, tienen mayor contenido de CO<sub>2</sub> que aquellas con pastoreo continuo, resultados coincidentes con los nuestros.

### **Densidad aparente (DA)**

Las clausuras de mayor edad (CI1 y CI2) mostraron los valores más bajos de densidad aparente (Figura 1). A medida que se intensificó el disturbio por pastoreo la densidad aparente aumentó, hasta llegar al valor más elevado, el cual corresponde al tratamiento PC. Esto puede ser atribuido a que el pastoreo con herbívoros de gran peso, aumenta la compactación del suelo por el pisoteo.

Al realizar el test de tuckey se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos CI1 y CI2, con respecto a R2 y PC, resultados que coinciden con los de Schuman et al. 1999 y Henderson et al. 2004, los cuales hallaron cambios en la densidad aparente del suelo ocasionados por el pastoreo. En cuanto a CI3 y R1, no se encontraron diferencias significativas con el resto de los tratamientos, coincidiendo con Taboada y

Lavado 1985, quienes en un *Natracuol* del partido de Pila bajo clausura y pastoreo, no hallaron diferencias significativas en la densidad aparente.



**Figura 4.** Densidad aparente de la estepa de halófitas bajo los diferentes tratamientos: clausura de 18 años (**CI1**), Clausura de 13 años(**CI2**), Clausura de 7 años(**CI3**), pastoreo rotativo implementado hace 18 años(**R1**), pastoreo rotativo implementado hace 7 años(**R2**) y pastoreo continuo (**PC**). Período evaluado: junio 2016 - junio 2017 para todos los tratamientos. Líneas verticales sobre la barra representan el D.E (n=3). Letras diferentes sobre la barra indica diferencias significativas por el test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

### Nitrógeno total (Nt)

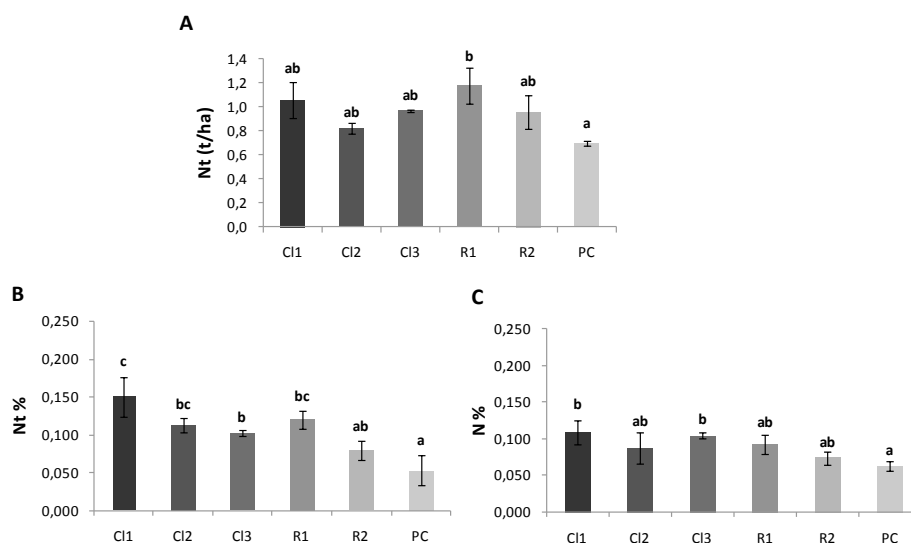
Los resultados de nitrógeno total del suelo fueron expresados de la misma manera que el COS, es decir, los valores correspondiente a los primeros 5 cm de suelo como t Nt/ha y el para el resto de las profundidades como porcentaje de Nt.

Al igual que lo hallado para el COS, el menor contenido de Nt fue para el PC, para todas las profundidades. Pero el mayor contenido de Nt, a diferencia del COS donde siempre mantuvo el primer lugar la CI1, presentó fluctuaciones. En los primeros (0-5cm) el

valor más alto (1,17 t Nt/ha) lo registró el tratamiento R1, le siguen en orden decreciente CI1> CI3> R2>CI2>PC, cuyos valores fueron 1,06; 0,97; 0,95; 0,82 y 0,70 t Nt/ha respectivamente. Si bien el R1 fue el de mayor contenido de Nt, solo tuvo diferencias significativas con un solo tratamiento (PC). En todos los casos el nitrógeno fue deficiente (figura 6A).

Entre los 5-10cm de profundidad, todas las clausuras y el R1 presentaron diferencias significativas respecto al PC, R2 solo se diferenció significativamente de CI1 (Figura 6B).

Entre los 10-20cm de profundidad, los mayores porcentajes de Nt se encontraron en la CI1 con 0,11 % y CI3, diferenciándose significativamente solo con el PC que arrojó el menor valor 0,06 %. El resto de los tratamientos dieron valores intermedios (figura 6C).



**Figura 6:** Nitrógeno total (Nt) a distintas profundidades de suelo bajo los diferentes tratamientos de pastoreo: **CI1:** clausura de 17 años, **CI2:** Clausura de 13 años, **CI3:** Clausura de 7 años **R1:** pastoreo rotativo implementado hace 17 años, **R2:** pastoreo rotativo implementado hace 7 años y **PC:** pastoreo continuo. **A:** 0-5 cm de profundidad, **B:** 5-10 cm de profundidad y **C:** 10-20 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Tukey ( $p < 0,05$ ). Las líneas verticales en cada barra indican desvío estándar.

La mayor parte del nitrógeno en el suelo se encuentra como constituyente de la materia orgánica edáfica, por lo tanto, el área donde el disturbio pastoreo es mayor (tratamiento de PC), mostró menor cantidad de Nt al igual que de COS, en contraposición con la clausura de mayor edad. Las áreas bajo pastoreo rotativo y las dos clausuras de menor edad mostraron, en general, valores intermedios a los extremos del gradiente de disturbio pastoreo.

Los resultados de Nt analizados mediante el test de tukey, indican que en los primeros 5cm, en el tratamiento CI3 (7 años de clausura) tuvo una leve diferencia respecto al tratamiento PC, aunque no significativa. En parte dicho resultado concuerda con lo reportado por Lavado & Taboada (1985), quienes observaron que no existían diferencias significativas en el contenido de Nt del suelo entre clausura de 6 años vs pastoreo continuo. Sin embargo no se encontró dicha coincidencia en el segundo horizonte (5-10cm) en donde todas las clausuras se diferenciaron significativamente del pastoreo continuo, resultados que coinciden con los encontrados por Vecchio (2014). Respecto a la profundidad comprendida entre los 10-20 cm se encontró que hubo diferencias significativas entre las CI1 y CI3 versus el pastoreo continuo, pero no así entre CI2 respecto al PC.

### **Evaluación de la relación entre el COS, Nt y PPNA**

Se analizaron los coeficientes de correlación ( $r^2$ ) entre la PPNA y COS y entre PPNA y Nt y a su vez se analizó la relación entre el contenido de broza de los diferentes tratamientos y el contenido de COS en los primeros 5 cm de suelo.

La relación entre la **PPNA** y el **COS**, dio un valor de  $r^2$  de 91,7%, indicando una alta relación entre dichas variables (figura 7A). La relación que se encontró fue lineal positiva, es decir, a mayor contenido de COS mayor PPNA. Esto podría deberse a que el



COS mejora las propiedades físicas y químicas del suelo generando una potencial mayor de fertilidad edáfica que explicaría la mayor PPNA, a su vez, la mayor PPNA en el sistema supone un mayor flujo de biomasa vegetal que genera un mayor potencial aporte al COS. Dicho reservorio es una de las principales fuente y sumidero de nutrientes presente en el suelo, los cuales mediante la mineralización secundaria quedan disponibles para las plantas, mejorando el ciclado de los nutrientes. Por otro lado el COS es el principal componente de la materia orgánica, y ésta por su carácter acidificante, contribuye a disminuir el elevado pH característico de los Natracualfes en los primeros centímetros de suelo, abriendo el abanico de posibilidades para el desarrollo de especies que no toleran niveles tan altos de pH. Tal es el caso del Rye-grass (*Lolium multiflorum*) y *Gaudinia fragilis*, las cuales fueron especies que se encontraron en las clausuras y en R1, pero no se encontraron en el R2 y PC, tratamientos en los cuales el contenido de COS fue menor. Por tal, puede interpretarse que la relación lineal positiva entre PPNA versus COS tiene causales directas e indirectas que contribuyen a una espiral virtuosa del sistema. Donde, a mayor PPNA mayor COS, lo que genera mayor fertilidad edáfica y consecuentemente las especies presenten produzcan más y por lo tanto, alimente la espiral virtuosa del sistema. Pero además, indirectamente ocurrirían otros cambios a nivel edáfico y a nivel de conopeo microambientales que posibilitarían condiciones favorables para el arribo de otras especies más productivas y de mayor calidad nutriciones que darían mayor potencial de mejora al sistema. Contribuyendo además, a aumentar la diversidad florística y con ello la estabilidad del sistema.

La relación entre la **PPNA y Nt** presento un  $r^2$  de 51% (figura 7B), lo que indica que existe una baja relación entre el contenido de Nitrógeno y la PPNA. Este resultado podría ser atribuido a que el Nt es un elemento que varía continuamente y está expuesto a procesos que conducen a su pérdida del suelo, como son la desnitrificación, volatilización

y lixiviación. No obstante, se analizó la relación entre la PPNA y el Nt de los tratamientos bajo pastoreo, obteniendo un  $r^2$  de 91,36%, comprobando que en las áreas pastoreadas existe relación entre la PPNA y Nt. (figura 7C).

Ante la sospecha de que al aumentar el contenido de broza aumenta el contenido de COS, se analizó la relación y se obtuvo un  $r^2$  de 63,18%, confirmando que hay relación entre la broza y el contenido de COS (figura 7D). Esto podría deberse a que la broza es el principal sustrato para la humificación, la cual genera las sustancias húmicas que contemplan al COS.

Por último se analizó la relación entre el **COS** y el **Nt**, hallándose un  $r^2$  de 66,43%, lo cual evidencia que existe relación positiva entre ambos (Figura 7E). Esto podría deberse a que el COS constituye la materia orgánica del suelo, y ésta es el principal reservorio de N en el suelo. En el anexo se pueden ver las figuras de las distintas relaciones analizadas.

Vecchio (2014) también encontró que el COS estaba fuertemente asociado a la cobertura total de cada área censal. Esto coincidiría con las relaciones encontradas de la PPNA y broza con el COS, es decir, que al aumentar la PPNA se espera un mayor contenido de broza y finalmente mayor cobertura.

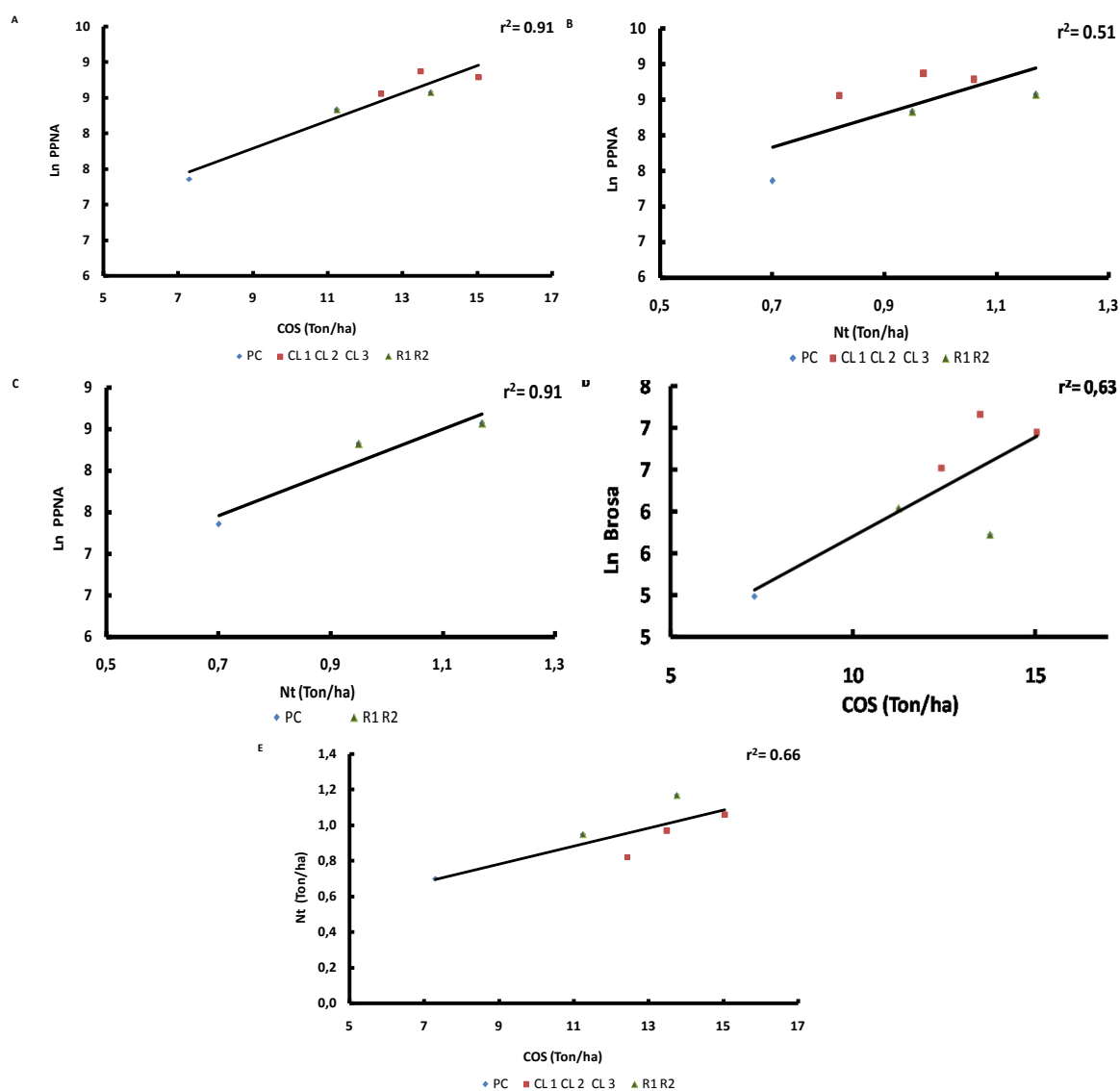
## Conclusión

El método de pastoreo influye sobre el contenido de COS, Nt del suelo y sobre la PPNA. Comparando todos los tratamientos, el área con mayor disturbio (PC) presentó, menor PPNA, COS y Nt. Por el contrario, aquellas áreas sin disturbio (clausuras) o con un bajo disturbio de pastoreo (R1 Y R2), evidenciaron los mejores resultados en dichas variables. Los resultados de este trabajo evidencian que el disturbio de pastoreo afecta negativamente la PPNA y las propiedades químicas de los suelos Natracualfes.

Comprobamos que cuando se maneja el pastoreo de los animales en el lote, definiendo momentos de descansos entre pastoreos, se pueden obtener resultados similares de PPNA, COS y Nt, a los obtenidos en áreas sin disturbio en el mediano y largo plazo. Por lo que, la utilización racional de la Estepa de Halófitas como recurso forrajero, permitiría conservar la estabilidad de las principales variables de funcionamiento de la comunidad, como son la PPNA y los ciclo de carbono y Nitrógeno.

Conocer la PPNA permite estimar la Conocer la PPNA nos permite estimar la cantidad de animales que la estepa soportaría, siendo ello un indicador clave para ajustar la carga animal de forma sustentable. A su vez, las tasas de crecimiento en las diferentes estaciones permiten, entre otras cosas, planificar la frecuencia y tiempo de ocupación y los períodos de descanso. Siendo esta información imprescindible para diseñar un manejo del pastoreo estratégico y racional de la comunidad Estepa de Halófitas a fin de preservar la integridad altamente frágil ante el disturbio de pastoreo.

## Anexo



**Figura 7.** Relación entre los diferentes parámetros evaluados. **A:** relación PPNA-COS; **B:** relación PPNA-Nt; **C:** relación PPNA áreas pastoreadas-Nt; **D:** relación broza-COS; **E:** relación Nt-COS.

## BIBLIOGRAFÍA:

Altesor, A., G. Piñeiro, F. Lezama, R. Jackson and M. Sarasola. 2006. Ecosystem changes associated with grazing in subhumid South American grasslands. *Journal of Vegetatio Science* 17:323-332

Álvarez, R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century Model. *Soil Use and Management* 17: 62-66.

Baisden, W. T. y R. Amundson. 2003. An analytical approach to ecosystem biogeochemistry modeling. *Ecological Applications* 13:649-663.

Bolaños, V. 2016. Exclusión como estrategia restauradora del carbono orgánico edáfico en pastizales halófitos de la Pampa Deprimida, Argentina. de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Brown, B. J. y T. F. H. Allen. 1989. The importance of scale in evaluating herbivory impacts. *Oikos* 54:189-194.

Burkart, S.E., R.J.C. León, S.B. Perelman and M. Agnusdei. 1998. The grassland of the flooding Pampa (Argentina): Floristic heterogeneity of plant communities of the southern Rio Salado basin. *Coenoses* 13:17-27.

Conant, R. T. y K. Paustian. 2002. Potential soil carbon sequestration in overgrazed grassland ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles* 16:1143.

Conant R T, K Paustian, S J Del Grosso, W J Parton (2005) Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 71:239–248.

Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Software Estadístico. Versión Libre. [En línea] Available at: <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46> [Último acceso: 13 9 2017].

Doll, Ursula M. y Deregibus, V.A. (1986). Efecto de la exclusión del pastoreo sobre el subsistema subterráneo de un pastizal templado húmedo. *Turrialba* 36:337-344.

Durante, M. 2006. Modelos explicativos Disponibilidad y predictivos de la productividad, y calidad de forraje basados remotos. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias.

Etchevehere, P. 1961. Bosquejo de regiones geomorfológicas y de drenaje de la República Argentina. *IDIA* 162: 7-25.

Garibaldi Lucas A., Sammartin M. & Chaneton E, 2007. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in Flooding Pampa grasslands. *Oecologia*. 151:650–662

Grecco, R.F. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada invernal sobre la acumulación de forraje de un pastizal natural de la Pampa Deprimida, Argentina. *Agríc. Téc.* v.61 n.3.

Henderson, D., B. Ellert y M. Naeth. 2004. Grazing and soil carbon along a gradient of Alberta rangeland. *Journal of Range Management* 57:402-410.

Jenkinson, D.S., Meredith, J., Kinyamario, J.I., Warren, G.P., Wong, M.T.H., Harkness, D.D., Bol, R., Coleman, K., 1999b. Estimating net primary production from measurements made on soil organic matter. *Ecology* 80, 2762±2773.

Josifovich J., Maddaloni J., Serrano H. & Echeverría J., 1989. Áreas forrajeras y de Producción Animal. *Información Técnica* N.º 226, EEA INTA Pergamino, Bs. As.

Lal, R. 2004a. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1623-1627. 120.

Lal, R. 2004b. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.

Lavado, R. S. y M. A. Taboada. 1985. Influencia del pastoreo sobre algunas propiedades químicas de un natracuol de la pampa deprimida. *Ciencia del Suelo* 3:102-108.

León, R.J.C., Rusch, G.M. & Oesterheld, M. 1984. Pastizales pampeanos-impacto agropecuario. *Phytocoenología* 12 (2/3):201-218.

Menghi, M. 1998. Diversidad y producción primaria de un pastizal inundable no pastoreado en la estepa pampeana (Argentina central). *Pastos XXVIII* (2), 183 - 200

Milchunas, D.G. and W.K. Lauenroth. 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs* 63: 327-366.

Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164:262-270.

Piñeiro, G. 2006. Biogeoquímica de Carbono y Nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de La Plata: Un análisis realizado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo. Tesis doctoral: Escuela para graduados Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. UBA.

Piñeiro G, Paruelo JM, Jobágyi EG, Jackson RB, Oesterheld M. 2009. Grazing effects on belowground C and N stocks along a network of cattle exclosures in temperate and subtropical grasslands of South America. *Global Biogeochemical Cycles* 23:1-14.

PROMAR (Programa de métodos analíticos de referencia). 1991. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. pH, Carbono, Materia orgánica, Nitrógeno total, Fósforo extractable. Argentina. p. 27.

Sala, O.E. 1988. The effect of herbivory on vegetation structure. In: MJA Werger; van der Aart; HJ During and JTA Verboeven, editors. *Plant form and vegetation structure*: 317-330 SPB Academic Publishing, The Hague.

SAMLA (Sistema de Apoyo Metodológico de Laboratorios de Suelo y Agua).1996. Dirección de Producción Agrícola – S.A.PyA. Densidad aparente y porosidad total.

Schuman, G. E., H. H. Janzen y J. E. Herrick. 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution* 116:391-396.

Schuman GE, Reeder JD, Manley JT, Hart RH, Manley WA: 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. *Ecological Applications* 9: 65-71.

Singh, J. Lauenroth, W. &Steinhorst, R. 1975. Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data. *Bot. Rev.* 41, 181-232.

Tiessen, H., E. Cuevas y P. Chacon. 1994. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371:783-785.

USDA-Natural Resources Conservation Service 2010. Keys to soil taxonomy, Soil Survey Staff, 346pp. 11th. Washinton, DC.,

Vecchio, MC; Golluscio, RA & Cordero, MI. 2008. Cálculo de la receptividad ganadera a escala de potrero en pastizales de la Pampa Deprimida. *Ecología austral* v.18 n.2.

Vecchio, M.C. 2014. Modificaciones en la vegetación y el suelo inducidos por el manejo del pastoreo en la estepa de halófitas de la Pampa Deprimida. Tesis de Magister en Recursos Naturales, Escuela para Graduados Alberto Soriano FAUBA. Argentina.

Walkley, A. and J.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. *Soil Sci.* 37:29–38